

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE FIXAÇÃO DOS
ENXERTOS UTILIZADOS NA RECONSTRUÇÃO DO LIGAMENTO CRUZADO
ANTERIOR**

LITERATURE REVIEW OF MAIN METHODS OF GRAFT FIXATION USED FOR
ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT RECONSTRUCTION

Autor: Alexandre Yoshio Hayashi

Orientador: Edmar Stieven Filho

Coorientadores: Mario Massatomo Namba, João Luiz Vieira da Silva

Trabalho realizado na Pós-Graduação em Artroscopia e Traumatologia Esportiva da
Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, Brasil.

Conflito de interesse: não

Endereço para correspondência: Alexandre Yoshio Hayashi – Rua dos Pinheiros
181, Zona 5, Maringá – PR, CEP 87060-280

Resumo - Introdução: O ligamento cruzado anterior é o ligamento mais lesado do joelho. A reconstrução do ligamento é aceita como tratamento de escolha para pacientes sintomáticos, jovens e ativos. Os enxertos autólogos mais utilizados são o ligamento patelar e os tendões flexores. Os métodos de fixação são os responsáveis pela resistência do neoligamento cruzado anterior no pós-operatório imediato. Devido a essa importância vários estudos estudaram o desenvolvimento de novos meios de fixação e sua eficácia. **Objetivo:** Obter informações e esclarecimentos sobre o tema através de uma revisão bibliográfica sobre os métodos de fixação utilizados na reconstrução do ligamento cruzado anterior. **Método:** Foi realizada uma revisão da literatura com consultas às bases de dados eletrônicos (periódicos CAPES, MEDILINE, PubMed e TripDatabase) além de livros, teses e dissertações. Estes dados foram analisados com o objetivo de fornecer um apoio teórico consistente para a realização da discussão sobre o tema.

Descritores: Ligamento Cruzado Anterior; Lesão do Ligamento Cruzado Anterior; Dispositivos de Fixação; Reconstrução do Ligamento Cruzado Anterior.

Abstract - Background: The anterior cruciate ligament is the most injured ligament in the knee. The ligament reconstruction is accepted as treatment of choice for symptomatic patients, young and active. The autologous grafts most used are the patellar ligament and the hamstring tendons. The fixation methods are responsible for the resistance of the anterior cruciate neoligament in the immediate postoperative period. Because of its importance many studies have studied the development of new means of attachment and its effectiveness. **Aim:** To obtain information and clarification on the issue through a literature review on the fixation methods used for anterior cruciate ligament reconstruction. **Methods:** A review of the literature was then performed utilizing electronic data bases (CAPES, MEDILINE, PubMed and Trip Database), as well in books and dissertations. These data were analyzed with the goal of providing a consistent theoretical support for holding the discussion on the topic.

Keywords: Anterior Cruciate Ligament, Anterior Cruciate Ligament Injury; Fixation Devices; Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.

INTRODUÇÃO

ANATOMIA

O ligamento cruzado anterior compõe-se de feixes de tecido colágeno longitudinalmente orientados, dispostos em subunidades fasciculares no interior de bandas funcionais maiores. Girgis, Marshall e Al Monajem descreveram o ligamento cruzado anterior como um ligamento de dois feixes, consistindo de um pequeno feixe ântero-medial e de um feixe maior pósterio-lateral, originando-se da parte posterior da superfície medial do côndilo lateral do fêmur no interior da fossa intercondilar e inserindo-se no platô tibial, medialmente à inserção do corno anterior do menisco lateral⁽¹⁾. O ligamento mede em torno de 38 mm de comprimento e 11 mm de largura. A irrigação é principalmente pela artéria genicular média, e fonte adicional provém do coxim adiposo retropatelar, através das artérias geniculares inferiores, medial e lateral. O nervo articular posterior, ramo do nervo tibial, inerva o ligamento cruzado anterior.

EPIDEMIOLOGIA E FUNÇÃO

O ligamento cruzado anterior é o ligamento mais lesado do joelho, sendo responsável por até 50% das lesões desta articulação^(2,3). É comum em práticas esportivas e só nos Estados Unidos estima-se que existam 100.000 novos casos a cada ano⁽⁴⁾.

O ligamento cruzado anterior é importante para manter a função normal do joelho. Ele é um dos responsáveis pelo controle estático ântero-lateral e rotacional. A principal queixa clínica é o falseio em movimentos que envolvam rotação do joelho (Figura 1). A insuficiência deste ligamento pode levar a lesões meniscais, lesões de cartilagem, episódios de falseio e progressão para artrose em alguns pacientes⁽⁵⁾.



FIGURA 1 - ROTAÇÃO DO JOELHO

TRATAMENTO

A reconstrução do ligamento cruzado anterior é aceita como tratamento de escolha para pacientes sintomáticos, jovens e ativos, sendo fator determinante para a obtenção de melhores resultados no retorno à prática esportiva⁽⁶⁾.

A reconstrução do ligamento cruzado é baseada em dois conceitos bem estabelecidos. O primeiro é a utilização de enxertos biológicos com características biomecânicas similares às do ligamento cruzado anterior e com baixa morbidade no sítio doador; o segundo é o aprimoramento das técnicas de reconstrução, com a finalidade de fixar o enxerto da melhor maneira e o mais próximo possível da inserção do ligamento original^(7,8,9,10,11).

ENXERTOS UTILIZADOS PARA RECONSTRUÇÃO

Os enxertos utilizados para reconstrução do ligamento cruzado podem ser artificiais, autólogos ou homólogos. Os enxertos artificiais não são mais usados na prática clínica, devido ao seu alto grau de rerotura criando a necessidade de nova

intervenção, porém ainda são objeto de estudos na avaliação de novos materiais biocompatíveis⁽¹²⁾.

Os enxertos autólogos mais utilizados são o ligamento patelar e os tendões flexores⁽¹²⁾.

O terço central do ligamento patelar é o “padrão ouro” na reconstrução do ligamento cruzado. Ele tem o maior número de estudos, porém existe uma relação muito forte entre o uso deste enxerto e déficit do aparelho extensor, além da morbidade no sítio doador (Figura 2).

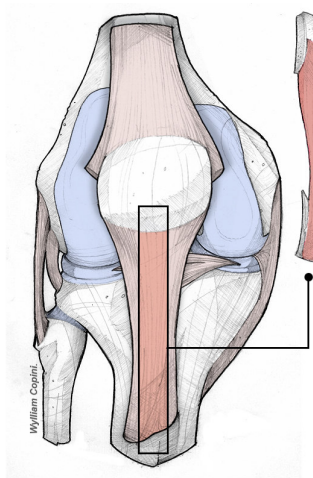


FIGURA 2 - TENDÃO PATELAR

A dor anterior após a retirada do enxerto dificulta a reabilitação inicial e prejudica o paciente no retorno rápido de suas atividades diárias. Existe controvérsia sobre o tempo que essa dor incide no pós-operatório, mas estima-se que seja por volta de doze meses. Após um ano não existe diferença estatística de queixas dolorosas dos sítios doadores para enxertos autólogos atualmente utilizados^(13,14,15,16).

Por estes problemas, muitos cirurgiões, migraram para enxertos que tivessem um menor número de queixas clínicas no pós-operatório^(17,18).

O enxerto mais usado nos Estados Unidos é o de tendões flexores de joelho humano, mais especificamente os tendões do músculo grácil e do músculo semitendíneo. Esse enxerto também é chamado de quádruplo pelo fato de possuir quatro bandas, duas do grácil e duas do semitendíneo (Figura 3).

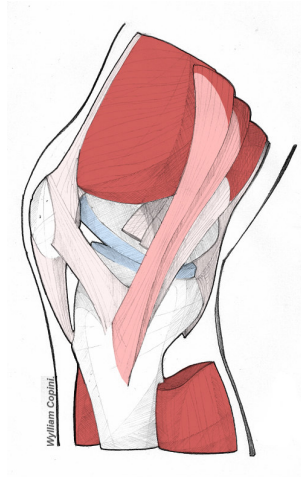


FIGURA 3 - TENDÕES FLEXORES

Suas principais vantagens sobre o ligamento patelar são a baixa morbidade no sítio doador, menor atrofia do músculo quadríceps e uma reabilitação menos dolorosa, principalmente nos primeiros meses⁽¹⁹⁾. Como desvantagem, do enxerto de tendões flexores de joelho em relação ao ligamento patelar, alguns autores questionam a rigidez da fixação do tendão contra o osso comparada com a fixação osso-osso⁽⁵⁾.

Nos estudos clínicos, não há diferença no retorno da prática esportiva, comparando os resultados do enxerto do ligamento patelar *versus* tendões flexores de joelho⁽²⁰⁾.

O uso do tendão do quadríceps é mais uma opção para o tratamento da lesão do ligamento cruzado anterior. É um ligamento volumoso, que pode ser usado em várias ocasiões e muito utilizado para casos de revisão^(21,22).

Os aloenxertos (enxertos homólogos de banco de tecidos) são outra opção para reconstrução do ligamento cruzado anterior^(23,24,25)

FORÇA SUPORTADA PELO ENXERTO

As forças localizadas no ligamento cruzado anterior são da ordem de 169N em uma caminhada, 67N ao se subir escadas e, 445N ao se descer escadas (Figura 4)⁽²⁶⁾.

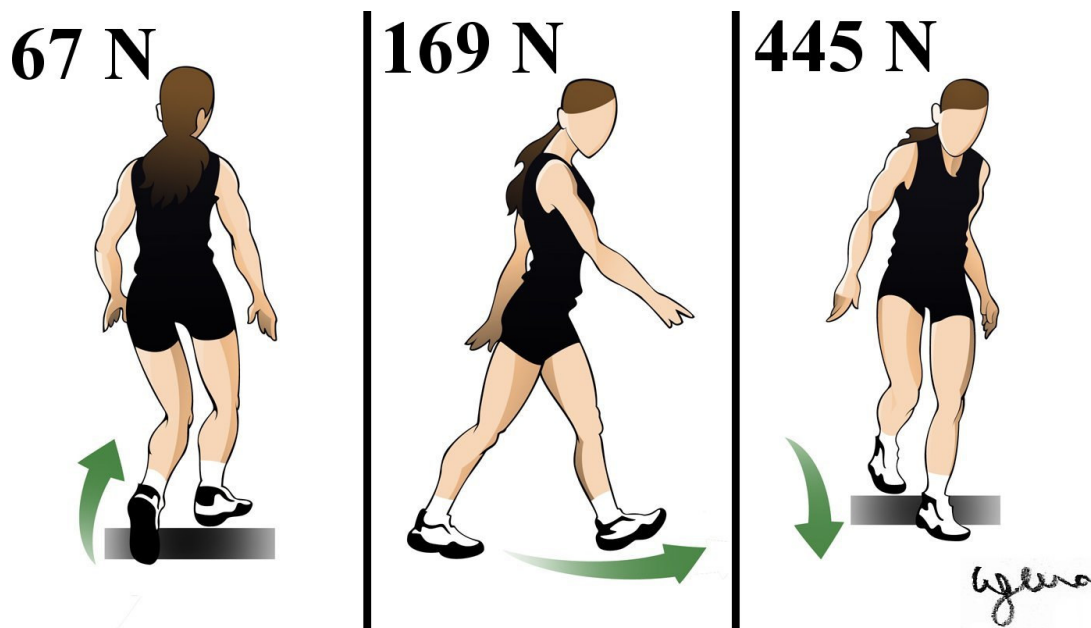


FIGURA 4 - FORÇA APLICADA NO LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR COM MOVIMENTO

Para as atividades do dia a dia, a força aplicada sobre o ligamento cruzado anterior gira em torno de 450 N^(27,28).

Os métodos de fixação são os responsáveis pela resistência do neoligamento cruzado anterior no pós-operatório imediato. Portanto a fixação tem que alcançar 450N de resistência, para que o paciente tenha condições de se deslocar no pós-operatório imediato, sem prejuízo, até que a cicatrização ocorra.

Os métodos de fixação atualmente utilizados ultrapassam os 450N necessários para a reabilitação inicial. O parafuso tem 539 ± 114 N, Rigidfix®(transverso) 737 ± 140 N, Bio-Transfix®(transverso) 746 ± 119 N e Endobutton®(suspensório) 864 ± 164 N⁽²⁹⁾.

MÉTODOS DE FIXAÇÃO

Muitas técnicas de fixação do enxerto foram desenvolvidas, especialmente nos últimos 30 anos, com uso de auto-enxertos ou aloenxertos. O método de fixação do enxerto exerce fundamental papel nos resultados das reconstruções do ligamento cruzado anterior, pois é ele quem determina a estabilidade do enxerto no período pós-operatório imediato. Observa-se que a maioria das falhas de fixação vistas

cl clinicamente ocorre nos primeiros meses após a operação, sendo o local da fixação do enxerto o ponto mais vulnerável da reconstrução⁽³⁰⁾.

TESTES CÍCLICOS E DE CICLO ÚNICO

A grande maioria dos testes biomecânicos, publicados em revistas renomadas, é de ciclo único^(31,32,33). Em que uma única tração contínua, de aumento de força progressivo, é feita com objeto de avaliar a resistência máxima e rigidez.

Nestes testes procura-se saber o ponto em que o enxerto falha completamente. Nos primeiros trabalhos publicados isso era considerado na rotura do tendão, o que pode não ser verdadeiro para correspondência clínica, pois a falha biológica pode acontecer antes disso. Nos trabalhos atuais o dado mais aceito como falha é o *yieldload*^(32,34). Esse dado é representado pela primeira deformação da curva do gráfico de teste (Gráfico 1). O que representaria uma medida menos irreal que a carga máxima para correspondência clínica.

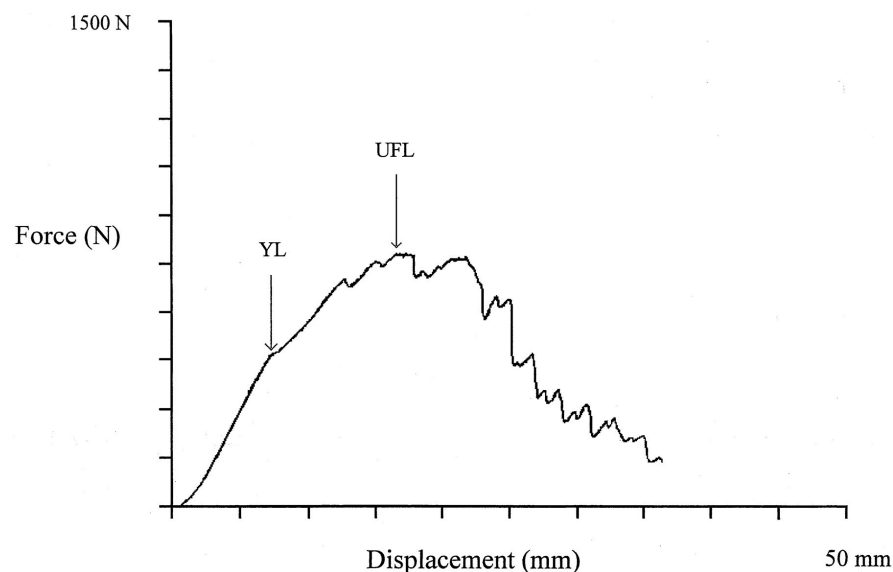


GRÁFICO 1 - GRÁFICO TÍPICO DE DEMONSTRAÇÃO DO *YIELD LOAD* (YL) E CARGA MÁXIMA (UFL)

O teste de ciclo único mostraria o comportamento da reconstrução sobre uma exigência máxima, como em caso de trauma ou entorse. Alguns autores questionam a importância desta informação para o pós-operatório da reconstrução

do ligamento cruzado anterior^(35,36). Uma vez que, o joelho será submetido a repetitivas forças de pequena energia, girando em torno de 150N^(26,37).

Essas cargas repetidas de pequena intensidade na reabilitação pós-operatória, como caminhada e exercícios isométricos, podem ser melhor correlacionadas com o teste cíclico^(34,35). No teste cíclico, o corpo de prova será submetido a um número predeterminado de ciclos de força. Essa força pode ser constante ou aumentar gradativamente, conforme o interesse da pesquisa.

A representação do resultado do teste cíclico é através de deformação *versus* o número de ciclos. O que representaria o alongamento do enxerto na fase de recuperação inicial (Gráfico 2).

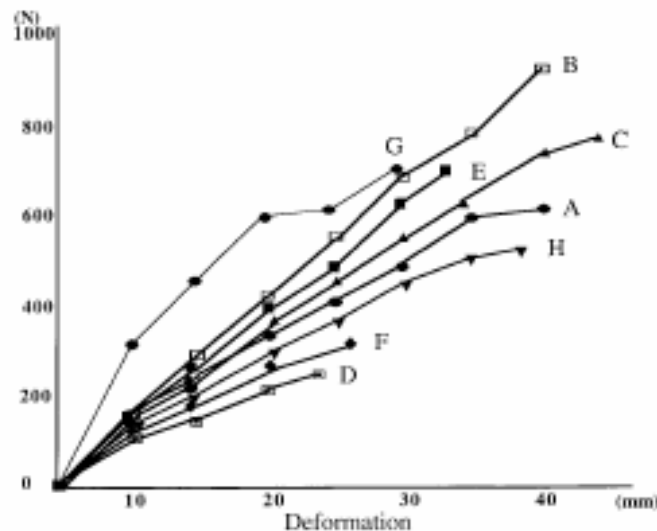


GRÁFICO 2 - GRÁFICO TÍPICO MOSTRANDO O ESCORREGAMENTO *VERSUS* O NÚMERO DE CICLOS

O número de ciclos para avaliação biomecânica do ligamento cruzado anterior é ainda questão de discussão. A maioria dos trabalhos usa 1.500 ciclos tendo como argumento que as maiores deformações acontecem nos primeiros ciclos^(36,38). Porém outros trabalhos acreditam que o número de ciclos deve ser correspondente ao que o paciente passa nas primeiras quatro semanas de pós-operatório, pois esse é o período em que teoricamente o enxerto teria completado sua primeira fase de incorporação e a fixação teria sua função secundária a cicatrização^(39,40,41). O número de ciclos aproximados em quatro semanas varia muito

da condução do pós-operatório, protocolos agressivos podem chegar a 60.000 ciclos⁽⁴²⁾.

OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo obter informações e esclarecimentos sobre o tema através de uma revisão bibliográfica sobre os principais métodos de fixação utilizados na reconstrução do ligamento cruzado anterior.

MÉTODO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica, onde foi utilizado levantamento atualizado com informações e esclarecimento sobre o tema.

A revisão constou de pesquisas às bases de dados eletrônicos como portal de periódicos CAPES, MEDILINE, PubMed e TripDatabase. Foram também consultados livros, teses e dissertações sobre o assunto.

Para tais consultas, foram utilizadas palavras chave como: lesão do ligamento cruzado anterior, ligamento cruzado anterior (LCA), fixação do ligamento cruzado anterior, reconstrução do ligamento cruzado anterior, dispositivos de fixação.

Estes dados foram analisados com o objetivo de fornecer um apoio teórico consistente para a realização da discussão sobre o tema.

REVISÃO DE LITERATURA

Observa-se que as principais opções de enxerto para a reconstrução do ligamento cruzado anterior, do ponto de vista biomecânico, possuem uma excelente resistência e ultrapassam com uma boa margem de segurança às forças aplicadas neste ligamento. Para tanto, tais enxertos devem também ser fixados rigidamente de maneira a suplantarem as forças que lhe são exigidas.

NOYES et al.⁴³ estimaram que a força aplicada sobre o ligamento cruzado anterior durante atividades diárias seria em torno de 454 N.

MARKOLF et al.⁽⁴⁴⁾ mediram de maneira direta as resultantes de forças sobre o ligamento cruzado anterior. A 5° de hiperextensão, as forças variaram de 50 a 240 N com uma média de 118 N. Torques de rotação interna geraram as maiores forças sobre o ligamento sendo que a maior força detectada foi de 370 N em posição de hiperextensão.

RUPP, KRAUSS e FRITSCH⁽⁴⁵⁾ consideraram uma força de 200 N como sendo um valor necessário para a estabilização do enxerto no período pós-operatório da reconstrução do ligamento cruzado anterior.

A imobilização da articulação é reconhecida como causadora de efeitos deletérios na cartilagem articular, músculos, estando freqüentemente associada à perda do movimento. A meta a ser alcançada no período pós-cirúrgico é a minimização da formação de tecido de cicatrização que possa restringir a amplitude normal de movimento articular. NOYES, MANGINE e BARBER⁽⁴³⁾

Entre as vantagens da utilização de protocolos acelerados de reabilitação pós-operatória observam-se uma maior cooperação e entendimento por parte do paciente, um retorno precoce à função normal e atividades atléticas, uma diminuição de sintomas na articulação patelo-femoral e um decréscimo da incidência de indicação de intervenções subseqüentes que visam reestabelecer a extensão do joelho. SHELBOURNE e NITZ⁽⁴⁶⁾.

Para KUROSAKA, YOSHIYA e ANDRISH⁽⁴⁷⁾, o método de fixação do enxerto exerce um fundamental papel nos resultados das reconstruções do LCA, pois a estabilidade do enxerto no período pós-operatório imediato é determinada pelo modo de fixação. Observaram que a maioria das falhas de fixação vistas clinicamente ocorrem nos primeiros meses após a cirurgia, sendo o local da fixação do enxerto o ponto mais vulnerável da reconstrução. Idealizaram um parafuso de fixação de enxertos com bloco ósseos, através do bloqueio por interferência com parafusos metálicos de 9 mm de diâmetro.

Os parafusos criados por KUROSAKA, YOSHIYA e ANDRISH⁽⁴⁷⁾ tiveram uma ampla difusão e foram submetidos a vários estudos que mostraram a sua eficiência como método de fixação na reconstrução do ligamento cruzado anterior com enxerto osso-tendão patelar-osso, sendo hoje considerado o "padrão-ouro" de fixação para este enxerto. BRAND JR. et al.⁽⁴⁸⁾.

Vários trabalhos estudaram a biomecânica da utilização de parafusos de interferência na fixação do enxerto osso-tendão patelar-osso a partir da descrição de KUROSKA, YOSHIYA e ANDRISH⁽⁴⁷⁾.

DISCUSSÃO

A importância do ligamento cruzado anterior em manter a função normal do joelho é bem reconhecida. A lesão deste ligamento pode levar a episódios recorrentes de falseio, danos nos meniscos, na cartilagem articular e progressão para artrose em alguns pacientes⁽⁵⁰⁾.

Os métodos de fixação são os responsáveis pela resistência do neoligamento cruzado anterior no pós-operatório imediato. Sabe-se que a fixação é o ponto mais frágil da reconstrução nas primeiras quatro semanas e que a qualidade óssea é o principal fator determinante desta fixação^(39,49). Devido a essa importância, esses métodos vêm mudando dramaticamente nos últimos 30 anos. Os atuais protocolos de reabilitação pós-cirúrgicos preconizam imediata mobilização em toda a amplitude de movimento, retorno da função neuromuscular, propriocepção e apoio precoce. Neste período, o ponto mais fraco do sistema é o local da fixação do enxerto no osso. Portanto, os métodos de fixação devem ser fortes e rígidos o suficiente para permitir a utilização dos atuais princípios da reabilitação⁽⁴⁸⁾.

Até o momento, os enxertos mais comumente utilizados para a reconstrução do ligamento cruzado anterior do joelho são o osso-tendão patelar-osso e os tendões flexores (semitendinoso e gracilis)⁽¹⁹⁾.

Entre as vantagens do uso do enxerto do tendão patelar observa-se uma alta resistência à tração inicial, adequada rigidez e rápida cicatrização^(28,51,52).

O uso dos parafusos criados por KUROSUKA, YOSHIYA e ANDRISH⁽⁴⁷⁾ foram amplamente difundidos e submetidos a vários estudos que mostraram a sua eficiência como método de fixação do enxerto osso-tendão patelar-osso, sendo considerado hoje o "padrão-ouro" de fixação deste enxerto⁽²⁸⁾.

Apesar da ampla difusão desta fixação, inúmeras complicações têm sido descritas com o seu uso, tais como posicionamento não paralelo do parafuso com conseqüente enfraquecimento do sistema, fratura dos blocos ósseos, laceração do

enxerto, laceração dos fios de sutura e de tracionamento do enxerto, fratura da cortical posterior do fêmur e perda de fixação num osso osteopênico^(28,34,50).

A presença do parafuso metálico, dentro dos túneis da reconstrução, pode trazer dificuldades na realização de uma cirurgia de revisão e também prejudicar a análise da imagem por ressonância magnética muitas vezes importante no seguimento pós-operatório^(28,45).

A maioria das fixações com tendões flexores de joelho é menos rígida que a fixação com parafusos de interferência contra um bloco ósseo. O método de fixação transversa é muito usado nesses casos e devido a sua alta resistência facilita a reabilitação precoce^(39,53). Nestas fixações os implantes transfixam o enxerto perpendicularmente e permitem contato de 360 graus do enxerto com o osso⁽⁵⁴⁾.

O uso da fixação transversa só pode se dar na extremidade de dobra do tendão quádruplo, pois ela foi desenvolvida para ser inserida junto ao *loop* do enxerto^(55,56,57).

Um outro método de fixação são os métodos por suspensão, em que o enxerto fica pendurado em um botão que trava na cortical óssea externa⁽¹⁵⁾. Constitui um método de fácil execução, contato de 360 graus do enxerto com o osso⁽¹⁵⁾. O Endobutton® (nome comercial da fixação por suspensão) tem um alto índice de alargamento do túnel ósseo, muitas interfaces entre o enxerto e o método de fixação e algumas vezes o botão fica ancorado em partes moles e não na cortical óssea⁽⁵⁸⁾.

O fato de serem usadas fixações tipo transversa e suspensória no fêmur é pela facilidade cirúrgica, pois a introdução do parafuso no fêmur é tecnicamente mais complexa⁽⁵⁹⁾. Isso porque o parafuso tem que ser introduzido através da articulação conforme a descrição clássica de reconstrução do ligamento cruzado anterior^(60,61). Em 2006 foi descrito uma técnica em que o parafuso é colocado por um acesso lateral no fêmur o que retiraria a complexidade deste passo cirúrgico⁽⁶²⁾.

Parafuso em poste e o parafuso com arruela são métodos muito acessíveis financeiramente e possuem bons resultados clínicos quando bem utilizados⁽⁶³⁾.

A fixação com parafuso e arruela tem índice menor de alargamento do túnel que os métodos suspensórios⁽⁵⁸⁾. Como desvantagens o parafuso tipo poste tem considerável perda de tensão com o tempo, que pode comprometer o resultado⁽⁶⁴⁾. Outra desvantagem é que alguns casos cursam com queixas dolorosas do paciente

em cima da cabeça do parafuso. Muitas vezes é preciso esperar o tempo de cicatrização do ligamento e depois retirar o implante. O índice de dor pode variar de 6 a 48%^(54,65).

Métodos tipo poste e botões, que fixam o enxerto fora do túnel, mantêm o movimento vertical. Graças a esse movimento a cicatrização pode não ocorrer⁽⁶⁶⁾. Outra hipótese é que esse tipo de fixação mantenha pouco contato do enxerto com o osso do túnel, assim dificultando a cicatrização^(19,40).

Existem vários métodos de fixação do enxerto na reconstrução do ligamento cruzado anterior, cada um com suas vantagens e desvantagens, dependendo do enxerto utilizado, porém todos devem ser fortes e rígidos o suficiente para permitir a utilização dos atuais princípios da reabilitação. Devido a sua importância estudos devem ser continuados para o aprimoramento tanto dos métodos de fixação quanto a técnica cirúrgica para reconstrução do ligamento cruzado anterior.

REFERÊNCIAS

1. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. ClinOrthopRelat Res. 1975 Jan-Feb;(106):216-31.
2. Miyasaka K. The incidence of knee ligament injuries in the general population. Am J Knee Surg. 1991; 4(1):3-8.
3. Bollen S. Ligament injuries of the knee--limping forward? Br J Sports Med. 1998 Mar;32(1):82-4.
4. Bach BR Jr, Boonoss CL. Anterior cruciate ligament reconstruction. AORN J. 2001 Aug;74(2):152-64.
5. Brand J Jr, Weiler A, Caborn DN, Brown CH Jr, Johnson DL. Graft fixation in cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med. 2000 Sep-Oct;28(5):761-74.
6. Cohen M, Abdalla RB, Eijnisman B, Filardi MS, Amaro JT. Estudo comparativo no tratamento das lesões do ligamento cruzado anterior no esporte. Rev Bras Ortop. 1997; 32(35):337-41.
7. Morgan CD, Kalman VR, Grawl DM. Definitive landmarks for reproducible tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy. 1995 Jun;11(3):275-88.
8. Ishibashi Y, Rudy TW, Livesay GA, Stone JD, Fu FH, Woo SL. The effect of anterior cruciate ligament graft fixation site at the tibia on knee stability: evaluation using a robotic testing system. Arthroscopy. 1997 Apr;13(2):177-82.
9. Abebe ES, Moorman CT 3rd, Dziedzic TS, Spritzer CE, Cothran RL, Taylor DC, Garrett WE Jr, DeFrate LE. Femoral tunnel placement during anterior cruciate ligament reconstruction: an in vivo imaging analysis comparing transtibial and 2-incision tibial tunnel-independent techniques. Am J Sports Med. 2009

- Oct;37(10):1904-11.
- 10.Scanlan SF, Blazek K, Chaudhari AM, Safran MR, Andriacchi TP. Graft orientation influences the knee flexion moment during walking in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2009 Nov;37(11):2173-8
 - 11.Steiner ME, Battaglia TC, Heming JF, Rand JD, Festa A, Baria M. Independent drilling outperforms conventional transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2009 Oct;37(10):1912-9.
 - 12.Fu FH, Bennett CH, Ma CB, Menetrey J, Lattermann C. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative procedures and clinical correlations. *Am J Sports Med.* 2000 Jan-Feb;28(1):124-30.
 - 13.Corry IS, Webb JM, Clingeleffer AJ, Pinczewski LA. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. A comparison of patellar tendon autograft and four-strand hamstring tendon autograft. *Am J Sports Med.* 1999 Jul-Aug;27(4):444-54.
 - 14.Aune AK, Holm I, Risberg MA, Jensen HK, Steen H. Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized study with two-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2001 Nov-Dec;29(6):722-8.
 - 15.Eriksson K, Anderberg P, Hamberg P, Löfgren AC, Bredenberg M, Westman I, Wredmark T. A comparison of quadruple semitendinosus and patellar tendon grafts in reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 2001 Apr;83(3):348-54.
 - 16.Shaieb MD, Kan DM, Chang SK, Marumoto JM, Richardson AB. A prospective randomized comparison of patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2002 Mar-Apr;30(2):214-20.
 - 17.Rosenberg TD, Franklin JL, Baldwin GN, Nelson KA. Extensor mechanism function after patellar tendon graft harvest for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1992 Sep-Oct;20(5):519-25.
 - 18.Victor J, Bellemans J, Witvrouw E, Govaers K, Fabry G. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction--prospective analysis of patellar tendon autografts compared with allografts. *IntOrthop.* 1997;21(2):93-7.
 - 19.Fu FH, Bennett CH, Lattermann C, Ma CB. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part 1: Biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med.* 1999 Nov-Dec;27(6):821-30.
 - 20.Marder RA, Raskind JR, Carroll M. Prospective evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction. Patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendons. *Am J Sports Med.* 1991 Sep-Oct;19(5):478-84.
 - 21.Howe JG, Johnson RJ, Kaplan MJ, Fleming B, Jarvinen M. Anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps patellar tendon graft. Part I. Long-term followup. *Am J Sports Med.* 1991 Sep-Oct;19(5):447-57.
 - 22.Kaplan MJ, Howe JG, Fleming B, Johnson RJ, Jarvinen M. Anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps patellar tendon graft. Part II. A specific sport review. *Am J Sports Med.* 1991 Sep-Oct;19(5):458-62.
 - 23.Czitrom AA, Axelrod T, Fernandes B. Antigen presenting cells and bone allotransplantation. *ClinOrthopRelat Res.* 1985 Jul-Aug;(197):27-31.
 - 24.Shino K, Inoue M, Horibe S, Hamada M, Ono K. Reconstruction of the anterior

- cruciate ligament using allogeneic tendon. Long-term followup. *Am J Sports Med.* 1990 Sep-Oct;18(5):457-65.
25. McKernan D, Paulos L. Graft selection. *Knee Surgery.* Baltimore, Williams & Wilkins, 667-78, 1994.
 26. Morrison JB. The mechanics of the knee joint in relation to normal walking. *J Biomech.* 1970 Jan;3(1):51-61.
 27. Noyes FR, Butler DL, Paulos LE, Grood ES. Intra-articular cruciate reconstruction. I: Perspectives on graft strength, vascularization, and immediate motion after replacement. *ClinOrthopRelat Res.* 1983 Jan-Feb;(172):71-7.
 28. Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF, Hefzy MS. Biomechanical analysis of human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg Am.* 1984 Mar;66(3):344-52.
 29. Ahmad CS, Gardner TR, Groh M, Arnouk J, Levine WN. Mechanical properties of soft tissue femoral fixation devices for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2004 Apr-May;32(3):635-40.
 30. Noyes FR, Barber-Westin SD. Revision anterior cruciate ligament reconstruction: report of 11-year experience and results in 114 consecutive patients. *Instr Course Lect.* 2001;50:451-61.
 31. Brown CH Jr, Hecker AT, Hipp JA, Myers ER, Hayes WC. The biomechanics of interference screw fixation of patellar tendon anterior cruciate ligament grafts. *Am J Sports Med.* 1993 Nov-Dec;21(6):880-6.
 32. Magen HE, Howell SM, Hull ML. Structural properties of six tibial fixation methods for anterior cruciate ligament soft tissue grafts. *Am J Sports Med.* 1999 Jan-Feb;27(1):35-43.
 33. Ferretti A, Conteduca F, Morelli F, Ticca L, Monaco E. The Evolgate: a method to improve the pullout strength of interference screws in tibial fixation of anterior cruciate ligament reconstruction with doubled gracilis and semitendinosus tendons. *Arthroscopy.* 2003 Nov;19(9):936-40.
 34. Kousa P, Järvinen TL, Vihavainen M, Kannus P, Järvinen M. The fixation strength of six hamstring tendon graft fixation devices in anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: femoral site. *Am J Sports Med.* 2003a Mar-Apr;31(2):174-81.
 35. Scheffler SU, Südkamp NP, Göckenjan A, Hoffmann RF, Weiler A. Biomechanical comparison of hamstring and patellar tendon graft anterior cruciate ligament reconstruction techniques: The impact of fixation level and fixation method under cyclic loading. *Arthroscopy.* 2002 Mar;18(3):304-15.
 36. Kousa P, Järvinen TL, Vihavainen M, Kannus P, Järvinen M. The fixation strength of six hamstring tendon graft fixation devices in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II: tibial site. *Am J Sports Med.* 2003b Mar-Apr;31(2):182-8.
 37. Morrison JB. Function of the knee joint in various activities. *Biomed Eng.* 1969 Dec;4(12):573-80.
 38. Beynon BD, Amis AA. In vitro testing protocols for the cruciate ligaments and ligament reconstructions. *Knee Surg Sports TraumatolArthrosc.* 1998;6 Suppl 1:S70-6.
 39. Rodeo SA, Arnoczky SP, Torzilli PA, Hidaka C, Warren RF. Tendon-healing in a bone tunnel. A biomechanical and histological study in the dog. *J Bone Joint Surg Am.* 1993 Dec;75(12):1795-803.

40. Weiler A, Hoffmann RF, Bail HJ, Rehm O, Südkamp NP. Tendon healing in a bone tunnel. Part II: Histologic analysis after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy*. 2002 Feb;18(2):124-35.
41. Weiler A, Peine R, Pashmineh-Azar A, Abel C, Südkamp NP, Hoffmann RF. Tendon healing in a bone tunnel. Part I: Biomechanical results after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy*. 2002 Feb;18(2):113-23.
42. Honl M, Carrero V, Hille E, Schneider E, Morlock MM. Bone-patellar tendon-bone grafts for anterior cruciate ligament reconstruction: an in vitro comparison of mechanical behavior under failure tensile loading and cyclic submaximal tensile loading. *Am J Sports Med*. 2002 Jul-Aug;30(4):549-57.
43. Noyes FR, Mangine RE, Barber S. Early knee motion after open and arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1987 Mar-Apr;15(2):149-60.
44. Markolf KL, Gorek JF, Kabo JM, Shapiro MS. Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament. An in vitro study performed with a new experimental technique. *J Bone Joint Surg Am*. 1990 Apr;72(4):557-67.
45. Rupp S, Krauss PW, Fritsch EW. Fixation strength of a biodegradable interference screw and a press-fit technique in anterior cruciate ligament reconstruction with a BPTB graft. *Arthroscopy*. 1997 Feb;13(1):61-5.
46. Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1990 May-Jun;18(3):292-9.
47. Kurosaka M, Yoshiya S, Andrish JT. A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 1987 May-Jun;15(3):225-9.
48. Brand JC Jr, Pienkowski D, Steenlage E, Hamilton D, Johnson DL, Caborn DN. Interference screw fixation strength of a quadrupled hamstring tendon graft is directly related to bone mineral density and insertion torque. *Am J Sports Med*. 2000 Sep-Oct;28(5):705-10.
49. Nurmi JT, Sievänen H, Kannus P, Järvinen M, Järvinen TL. Porcine tibia is a poor substitute for human cadaver tibia for evaluating interference screw fixation. *Am J Sports Med*. 2004 Apr-May;32(3):765-71.
50. Brown Jr. CH, Carson EW. Revision anterior cruciate ligament surgery. *Clin Sports Med*. 1999; 18(1):109-71.
51. Arnoczky SP, Tarvin GB, Marshall JL. Anterior cruciate ligament replacement using patellar tendon. And evaluation of graft revascularization in the dog. *J Bone Joint Surg*. 1982; 64-A(2):217-224.
52. Gobbi, A. Patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction with conchal press-fit femoral fixation: 5-year results in athletes population. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2002; 10:73-9.
53. Howell SM, Taylor MA. Brace-free rehabilitation, with early return to activity, for knees reconstructed with a double-looped semitendinosus and gracilis graft. *J Bone Joint Surg Am*. 1996 Jun;78(6):814-25.
54. Harilainen A, Sandelin J, Jansson KA. Cross-pin femoral fixation versus metal interference screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons: results of a controlled prospective randomized study with 2-year follow-up. *Arthroscopy*. 2005 Jan;21(1):25-33.
55. Clark R, Olsen RE, Larson BJ, Goble EM, Farrer RP. Cross-pin femoral

- fixation: a new technique for hamstring anterior cruciate ligament reconstruction of the knee. *Arthroscopy*. 1998 Apr;14(3):258-67.
56. Faustino C. Reconstrução do LCA com o uso dos tendões dos músculos flexores mediais do joelho e fixação femoral com o sistema de Rigidifix®-Relato Preliminar. *ActaOrtop. Bras.* 2004; 12(4):212-6.
 57. Castoldi F, Bonasia DE, Marmotti A, Dettoni F, Rossi R. ACL reconstruction using the Rigidfix femoral fixation device via the anteromedial portal: a cadaver study to evaluate chondral injuries. *Knee Surg Sports TraumatolArthrosc.* 2008 Mar;16(3):275-
 58. Simonian PT, Erickson MS, Larson RV, O'kane JW. Tunnel expansion after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction with 1-incision EndoButton femoral fixation. *Arthroscopy*. 2000 Oct;16(7):707-14.
 59. Walton M. Absorbable and metal interference screws: comparison of graft security during healing. *Arthroscopy*. 1999 Nov-Dec;15(8):818-26.
 60. Jones KG. Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. A Technique Using the Central One-Third of the Patellar Ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1963; 45: 925-32.
 61. Jones KG. Reconstruction of the anterior cruciate ligament using the central one-third of the patellar ligament. A follow-up report. *J Bone Joint Surg Am.* 1970 Oct;52(7):1302-8.
 62. Garofalo R, Mouhsine E, Chambat P, Siegrist O. Anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: the two-incision technique. *Knee Surg Sports TraumatolArthrosc.* 2006 Jun;14(6):510-6
 63. Goradia VK, Grana WA. A comparison of outcomes at 2 to 6 years after acute and chronic anterior cruciate ligament reconstructions using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy*. 2001 Apr;17(4):383-92.
 64. Boylan D, Greis PE, West JR, Bachus KN, Burks RT. Effects of initial graft tension on knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons: a cadaver study. *Arthroscopy*. 2003 Sep;19(7):700-5.
 65. Camanho G, Camanho L, Viegas A. Reconstrução do ligamento cruzado anterior com tendões dos músculos flexores do joelho fixos com Endobutton. *Rev Bras Ortop.* 2003; 38(6):329-36.
 66. Höher J, Möller HD, Fu FH. Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction? *Knee Surg Sports TraumatolArthrosc.* 1998;6(4):231-40.